

# 量子コンパイラ基盤の最適化処理・分岐並列制御の開発と 量子計算を体感するプレゼンテーション

～ 量子計算を一般にもわかりやすく、  
量子コンパイラ基盤をより実践的に ～

## 1. 背景

前年度は独自の量子コンパイラ基盤をオープンソースソフトウェアとして開発し、量子計算に必須な「量子コンパイラ」を“存在しない状況”から“存在する状況”にしました。2020年度は前年度の成果の利用価値を高めることで、「量子プログラミングをしやすくする」という本来の社会課題を解決するための開発に取り組みました。この開発を行うことに決めた背景として、次の2点の課題がありました。

・量子ゲート操作列を短くする「量子最適化処理」の機能をより充実することの必要性  
量子計算では、計算を短い時間で終わるために短いゲート操作列で目的の計算を行うことが求められます。量子コンパイラを用いることで量子ゲート操作列を短くする実践的な量子最適化処理を数多く検証でき、さらに効率的な量子ゲート操作列を用いることで、大規模な応用に関しても高速に計算を実施できるようになります。しかし、量子最適化処理の機構を一般のユーザーにもわかりやすく、かつ実践的に使えるものにするためには、前年度の成果からさらに量子コンパイラ基盤のフレームワークを充実させる必要がありました。

・量子ファームウェアの近くに量子ゲート操作を処理するコンポーネントの必要性  
現状のクラウド量子コンピュータを前提とした量子ライブラリでは、事前に量子ゲート操作の列を作れず、複雑な分岐処理や反復処理を含んだような量子計算のプログラミングはできません。複雑な分岐処理や反復処理を行う量子計算を実現するには、量子ファームウェアを、物理層に近い命令を処理するパルス波形生成部と、パルス波形生成部と通信しながら新たな量子ゲート操作を与える古典計算部分に分け、それらが並列に協調し合いながら動く機構が必要でした。

また、前年度の開発では、GNU Radio で量子ビットを制御するためのパルス波生成の機構を開発し、マイクロ波制御や電子回路の制作などが得意な職人気質のエンジニアが、量子コンピュータ分野の発展に貢献するための道筋を示しました。前年度の成果を応用分野で活用し、広く利用促進するために、「マイクロ波制御」に関しては、次の2点の課題を対象としました。

・マイクロ波制御処理をより実用化向けにする必要性  
具体的なパルス波を構成するためには量子力学の知識が必要なため、昨年度開発したフ

ファームウェアは関連する論文を探索してパルス波を生成するパラメータを構築できる人か、マイクロ波に詳しい技術者でなければ利用が難しい構造になっていました。このため、量子計算に馴染みのある技術者にも、このパルス波生成の機構を利用しやすくする必要がありました。

#### ・教育的視点でのデモンストレーションの必要性

昨年度の開発を通じて、マイクロ波制御のエンジニアリングと量子力学から得られる理論の境界的な学術分野には「マイクロ波制御の用語を量子計算の用語の対応づけがしづらい」などの教育的な課題があると気づきました。このため、量子計算の仕組みを学ぶことができるインタラクティブ(体感・体験できる)プレゼンテーションが必要と考えました。

## 2. 目的

本プロジェクトでは「量子最適化処理の追加実装」「パルス波発生処理の追加実装」「分岐並列(非同期)制御の開発」「量子計算を体感するアプリケーションの実装」に分けて各コンポーネントを開発することで、上記背景に示した課題を解決することを目的としました。量子コンパイラ基盤とその実行環境およびマイクロ波制御の拡張では、量子誤り訂正符号の対応やサンプリング配列からのパルス波生成など、より実用的な利用価値を高めることを目的にしました。また、教育的視点でのデモンストレーションの構築では、一般にも量子計算を訴求できるような作品を目指して制作しました。

## 3. ソフトウェア開発内容

前年度開発の「RISC-V 量子拡張の参照実装とマイクロ波制御量子ファームウェアの開発」から得られた上記の課題に対して、その成果物を利用した新たな未踏的・応用的な取り組みとして「量子コンパイル基盤の最適化処理・分岐並列制御の開発と量子計算を体感するプレゼンテーション」を開発しました。

### 1) 量子最適化処理の追加実装

「量子コンパイラ基盤」を利用して、量子計算の最適化フレームワークの応用例を実装しました。また、応用例を検証するため、量子誤り耐性符号に対応した命令セットを開発しました。

### 2) パルス波発生処理の追加実装

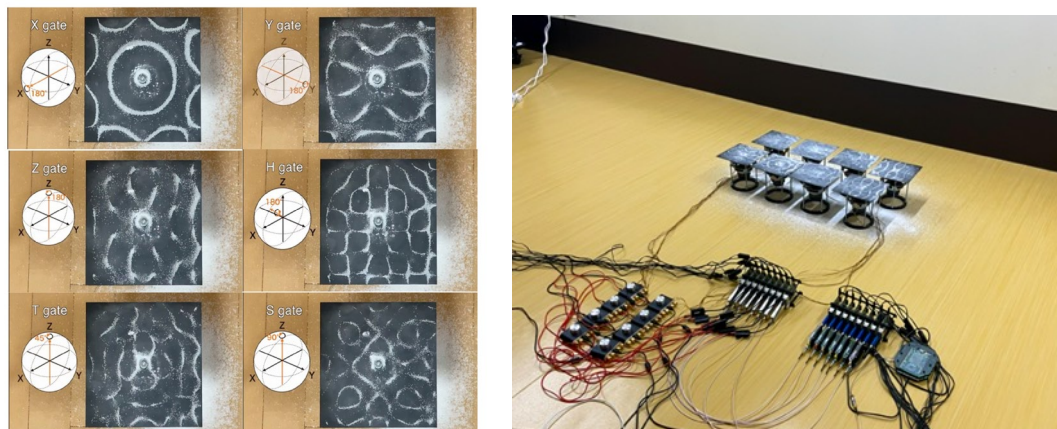
無線技術者に向けて開発した「マイクロ波制御の機構」を量子分野の研究者、技術者にも利用しやすいようにサンプリング配列からパルス波を生成できるような拡張機能を開発しました。

### 3) 分岐並列(非同期)制御の開発

量子誤り訂正符号に対応するための機構として、量子系を制御するためのパルス波形生成部と、新たな量子ゲート操作を与える古典計算部分が、並列に協調し合いながら動く機構を開発しました。

### 4) 量子計算を体感するアプリケーションの実装

「マイクロ波制御の機構」を利用して、量子計算の操作をクラドニ図形で表現する作品(下図)を制作しました。



(左：クラドニ図形と量子計算の操作の対応、右：作品の全体像)

## 4. 新規性・優位性

量子計算のコンパイル基盤で、高級言語から中間言語を介してバイナリ形式までコンパイルでき、そして量子誤り訂正符号に対応した実行環境までを含めて一貫した処理できるフレームワークは、これまでにほとんど存在していません。本プロジェクトで開発したフレームワークは、今後実機を使った量子プログラミングの構造を検討する上での有力なアーキテクチャの1つとして提案できると考えます。

また、量子計算を教育的に表現するための作品はまだ例が少なく、クラドニ図を用いた量子計算のプレゼンテーションを制作した作品には新規性があります。

## 5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

期待されるユーザー価値と社会へのインパクトは次の3点が挙げられます。

1) 今年度下記2点が実装されることで、本プロジェクトの成果は非量子な技術者(既存の計算機のコンパイラ、マイクロ波制御の技術者)にとっても理解しやすく、実践的なものになりました。これにより、非量子な技術者の量子分野への参入が容易となり、応用分野への活用が広がると期待しています。

- \* 量子誤り訂正符号に対応するための機構と分岐並列(非同期)制御の追加
- \* サンプリング配列からパルス波を生成する処理の拡張

2) 代表的な量子誤り耐性計算の枠組みをターゲットに量子最適化処理のサンプルを実装し、コンパイラ最適化などの古典計算における既存の効率化の技術が量子計算でも活用できることを実証しました。これによりソフトウェアエンジニアに量子計算の最適化処理を開発するためのフレームワークが提供できたため、今後より高度な量子計算の最適化処理が発展すると期待しています。

3) 体験型のアプリケーションとして、体験から興味を持ってもらうことを主眼において制作した作品は、量子コンピュータを知らない世代(子供から大人まで)の幅広い層に、量子コンピュータを考える機会を創出することができました。今後も、このプレゼンテーションを使って量子計算の魅力を一般にも訴求していきます。

## 6. 氏名 (所属)

山崎 清仁(有限会社ジェイズコア)

新里 祐教(GMO インターネット株式会社)

加藤 拓己(blueqat 株式会社)

今村 謙之(インターステラテクノロジズ株式会社)

## (参考) 関連 URL

開発ブログなど : <https://quantum.siprop.org/>

コミュニティ :

(情報共有) <https://openql.slack.com/> (※招待制)

(勉強会) <https://openql.connpass.com/>

ソース公開 : <https://github.com/openql-org/>